

[30] コンクリートの分割練り混ぜ方法に関する基礎的研究

正会員 ○ 魚本健人 (東京大学生産技術研究所)

正会員 星野富夫 (東京大学生産技術研究所)

1. は し が き

現在、生コンプラント等においてコンクリートを製造する場合には、セメント、砂、砂利および水などの素材をほぼ同時にミキサに投入して練り混ぜるのが普通である。しかし、最近、各素材を同時にミキサに投入するのではなく、素材A、BおよびCの1部をまず練り混ぜたのち、残りの材料を投入して練り混ぜるといった分割方式の練り混ぜを行うことによって、コンクリートの性質を改善する方法が開発され、各方面で注目を集めている。その1例として、表面水量を約5%程度に制御した砂とセメントを混練し、砂の表面にセメントの粒子を付着させて造粒し、水セメント比の小さい皮殻を形成させるような練り混ぜ方法¹⁾をあげることができる。しかし、著者が既に明らかにしたように²⁾³⁾コンクリートの練り混ぜ方法を従来の一括方式からこのような分割方式へ変えた場合、ブリージングの減少や5~10%程度の圧縮強度の増大をもたらすが、同一スラブとするためには単位水量を増加させる必要のあることや、乾燥収縮が増大する傾向がある。

そこで、本研究では分割方式による練り混ぜ方法において最も大きな影響を及ぼす1次水に着目し、その添加量並びに添加時期がコンクリートの品質に及ぼす影響について実験的に検討するとともに、分割方式による練り混ぜを採用した場合にブリージングが最も少なくなる条件並びに圧縮強度が最大となる条件に関する検討を行った。

2. 実 験 概 要

コンクリートの練り混ぜ方法は表-1に示すように方式A及び方式Bの2種類とし、方式Bは1次水添加時期の検討の場合にのみ用いた。方式Aは細骨材(S)及び粗骨材(G)で空練りし、1次水(W₁)を投入して練り混ぜ、さらにセメント(C)を投入して練り混ぜ、さらにセメント(C)を投入して練り混ぜた後、残りの水(2次水:W₂)を投入して練り上げる方法である。方式Bは、細骨材、粗骨材及びセメントを投入し空練り後、1次水を投入して練り混ぜ、残りの2次水を入れて練り上げる方法である。

使用材料は表-2に示すように、粗骨材としては最大寸法20mmの砕石及び玉砂利を、また細骨材としては川砂及び非造粒型の人工軽量骨材を用いた。なお、骨材の表面水率はいずれの場合にも0~1%の範囲になるよう調整した。

コンクリートの配合は水セメント比40%, 55%, 70%の3種類とし、2次水投入前における試料を用いて単位体積重量試験及びミキサの消費電力を調べ、2次水投入後コンクリート練り上がり時においてスラブ試験及びブリージング試験を実施した。強度に関しては圧縮強度のみを調べることにし、Ø10×20cm供試体を用いて、所定材令まで水中養生(20℃)を施した。

表-1 分割練り混ぜ方法

方式	投入順序および練り混ぜ時間	全練り混ぜ時間
A		4分15秒
B		4分15秒

S: 細骨材, G: 粗骨材, C: セメント
W₁: 1次水, W₂: 2次水

表-2 使用材料一覧

材 料		比 重	吸 水 率	粗 粒 率	そ の 他
セメント	普通ポルトランド	3.15	—	—	3,300kg/袋
粗骨材	砕 石	2.70	0.70%	6.62	秩父産
	玉 砂 利	2.66	0.71%	6.55	大井川産
細骨材	川 砂	2.62	2.24%	3.03	富士川産
	人工軽量骨材	1.90	17.11%	2.78	非造粒

3. 1次水添加量がコンクリートの品質に及ぼす影響

方式Aの方法で練り混ぜたコンクリートの品質と1次水量との関係を調べた。

図-1及び図-2はブリージング率との関係を、図-3はスランブとの関係を示したものである。これらの図から明らかなように使用骨材及び配合のいかんを問わず、1次水量が非常に少ない場合には、スランブ及びブリージング率は大きい。1次水量を増大させるとその量が少ない場合には減少する。さらに1次水量を増大させるとスランブ及びブリージング率は増加に転ずる。しかし、詳細に調べると例えばブリージング率が最少となる1次水セメント比は使用骨材及び配合によって若干異なり、セメント量に対する割合だけでは表示しきれないことが明らかである。

図-4はスランブとブリージング率との関係を示したもので、バラツキはあるが全体的にはブリージング率の小さいものほどスランブは小さくなる傾向が認められる。しかし、1次水量が少なく、ブリージング率やスランブが最小となるまでの範囲と、1次水量が多くブリージング率やスランブが増大する範囲とを比較すると、前者の場合に比べ後者の場合の方が同じスランブ値であってもブリージング率は小さい。

図-5は1次水量と圧縮強度との関係を示した1例である。この図からも明らかなように、1次水量を変化させてもコンクリートの圧縮強度はほとんど変化しないが、1次水がごくわずかな場合に比べある程度1次水量の多い場合の方が若干高い圧縮強度が得られている。この図では1次水セメント比が35~45%の場合に最も高い強度となっているが、その場合でも1次水セメント比がほぼ0の場合に比べ、材令7日で約10%、材令28日で約8%、材令91日で約5%の強度増であり、既に著者らが報告した値⁽²⁾と良い一致を示している。

図-6は圧縮強度とブリージング率との関係を示したものである。この図から明らかなように、全体的に見るとブリージングの少ない場合ほど高い圧縮強度が得られているが、詳細に見るとブリージングが最も少ない場合の圧縮強度は必ずしも高くはなく、1

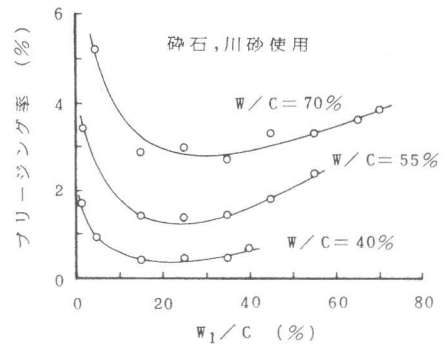


図-1 1次水セメント比とブリージング率

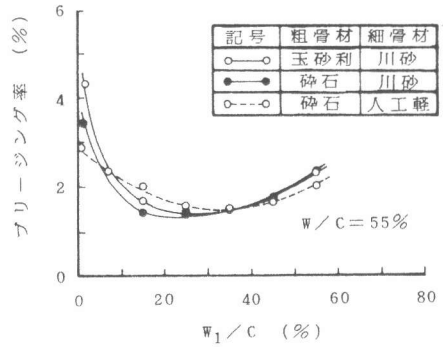


図-2 1次水セメント比とブリージング率

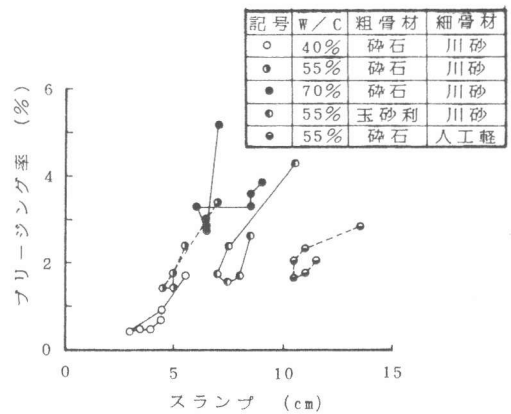


図-4 スランブとブリージング率

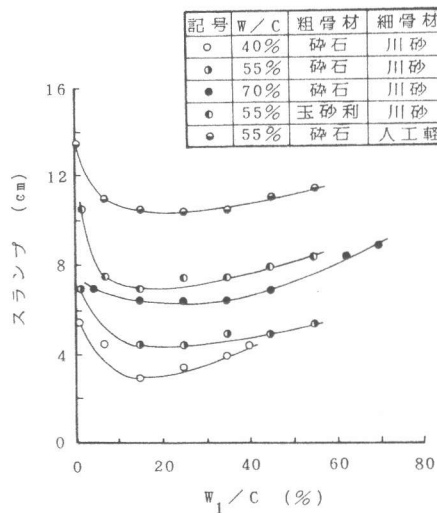


図-3 1次水セメント比とスランブ

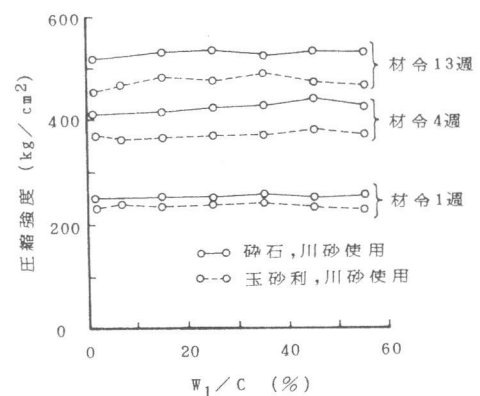


図-5 1次水セメント比と圧縮強度

次水量を増大しブリージングが増加する部分で最大となっている。

4. 1次水添加時期がコンクリート品質に及ぼす影響

1次水添加時期がコンクリート品質に及ぼす影響について調べるため、方式A及び方式Bの練り混ぜ方法による比較を行なった。その結果の1例を図-7及び図-8に示す。

図-7及び図-8は骨材の表面水(1%以下)のみを1次水とした場合のブリージング率及び圧縮強度を基準とし、1次水量との関係を調べたもので、使用材料、コンクリート配合は全く同じである。即ち、1次水投入時期がセメント投入時よりも前か後かの違いだけで、表-1にも示したように練り混ぜ時間等の違いはない。

図-7で明らかなように方式A及び方式Bのいずれの練り混ぜ方法を採用した場合においても1次水量を増大させるにつれブリージングは減少し、さらにその量を増加させるとブリージングは増加へと転ずる。ブリージングが最小となるのはいずれも1次水セメント比が約25%程度である。しかし、大きく異なる点は、セメント投入前に1次水を投入する方式Aの方法で練り混ぜる方がセメント投入後に1次水を投入する方式Bの方法に比べブリージングの減少率が大きいことである。

一方、図-8で明らかなように1次水量と圧縮強度との関係も練り混ぜ方法の違いによらずほぼ同じ傾向を示しており、1次水量を増大させるに従い強度は若干増加し、1次水セメント比が約45%の場合に最も高い強度が得られている。しかし、ブリージングの場合とは逆に、方式Aの方法に比べ方式Bの方法で練り混ぜる方が強度増加率は大きい。

以上の結果からも明らかなように、分割練り混ぜ方法でコンクリートを練り混ぜる場合、ブリージングの減少や強度の増大は1次水添加時期によらず、水を分割して投入し練り混ぜを行えば同様な効果が得られる。なお、ブリージングの減少率や強度の増加率の違いは1次水添加時期による影響を受けているものと思われる。

5. ブリージング率が最小となる条件及び圧縮強度が最大となる条件に関する検討

ブリージングが最小となる1次水セメント比及び圧縮強度が最大となる1次水セメント比は必ずしも一致しないことは、上記の結果からも明らかである。そこで、それぞれの条件がいかなるものであるかを検討するために、2次水添加前及びコンクリート練り上がり時における単位体積重量及びミキサの消費電力を調べた。

図-9はコンクリートの単位体積重量が1次水量の変化に伴いどのように変化するかを調べたものの1例である。この図より明らかなように、2次水添加前におけるコンクリートの単位体積

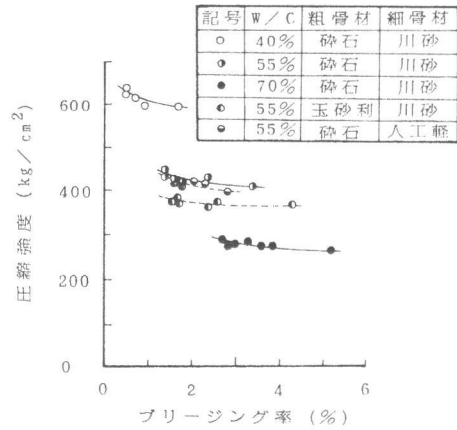


図-6 ブリージング率と圧縮強度

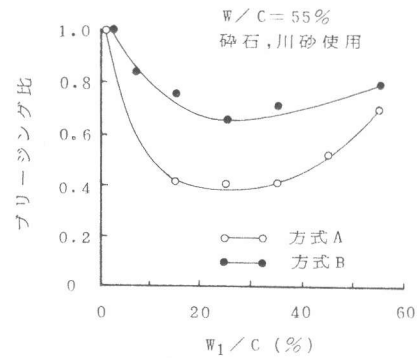


図-7 1次水添加時期とブリージング率

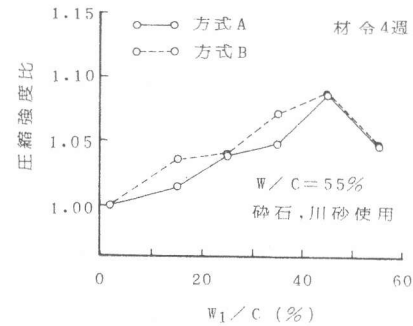


図-8 1次水添加時期と圧縮強度

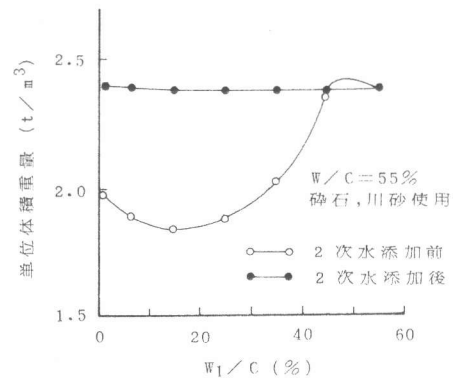


図-9 1次水セメント比と単位体積重量

重量は1次水量によって著しく変化するにもかかわらず、2次水添加後においてはほとんど変化しない。一方、1次水量の変化に伴ないミキサの消費電力を調べた1例が図-10である。この場合にも単位体積重量の場合と同様に、2次水添加前における消費電力は1次水量によって大きく変化するにもかかわらず、2次水添加後においてはほとんど変化しない。このような現象は骨材のみに水を加えた場合や、セメント粉末又はスラグ粉末のみに水を加えた場合にも同様に認められることから、コンクリートに特有なものではなく水にとけな粉体材料であれば同様な現象が生ずるものと思われる。

これらの現象とコンクリートのブリージング及び圧縮強度との関係を調べるため、1次水量とブリージング率、単位体積重量、単位体積乾燥重量(計算値)との関係の1例を図-11に、また1次水量と圧縮強度、ミキサの消費電力、単位体積重量増加率(計算値)との関係の1例を図-12に示す。なお、単位体積乾燥重量は水が均等に分散していると仮定して求めたものであり、単位体積重量増加率は単位体積重量-1次水セメント比曲線からその勾配として求めたものである。

これらの図より明らかなように、コンクリートのブリージングが最も少なくなるのは単位体積乾燥重量が最も小さくなる場合にほぼ相当し、コンクリートの圧縮強度が最も高くなるのはミキサの消費電力又は単位体積重量増加率が最も大きくなる場合とほぼ一致する。前者は、単位体積中にしめるセメント、砂、砂利等の固体材料のしめる体積が最も少なくなる場合に相当するが、これは水をも含めた空隙が最も大きくなることを意味する。即ち、この状態で2次水を添加すれば水は固体材料間に容易に浸透する。しかし、この条件における練り混ぜ時の状態を観察すると粗骨材へのモルタル分の付着は少ないがほとんどの細骨材にセメントが付着していることから、これがブリージングに影響を及ぼしたとも考えられる。一方、後者は、ペレット状になった小塊が互いに付着し、より大きな塊へと変化する場合に相当する。即ち、骨材及びセメントからなるペレット状の塊に含まれる水は飽和状態となり余剰水の存在により相互に付着する。この状態では、すでに骨材表面に十分セメントが付着しているため、たとえ2次水を添加しても骨材との付着は他の場合に比べ良く、強度増に結びついたものと思われる。

6. 結 論

本研究で明らかになったように、コンクリート練り混ぜ時に水を分割して投入することは、たとえ配合や使用材料が異なる場合でも、1次水添加時期がセメント投入前、投入後のいかなを問わず、ブリージングの減少及び若干の圧縮強度の増大を生じさせる。また、ブリージングが最小となる条件及び圧縮強度が最大となる条件は、単位体積重量ならびにミキサの消費電力と密接な関係がある。

<参考文献> 1)伊東他：セメントコンクリート 410, 1981 2)魚本他：土木学会年学(第36回)1981

3)魚本他：生産研究 vol133, 8, 9, 11, 1981

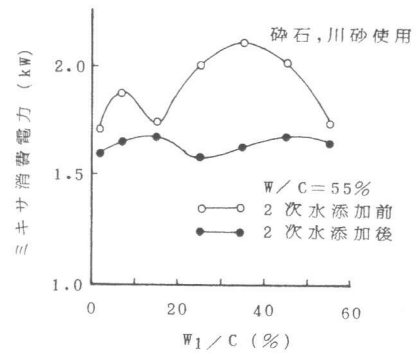


図-10 1次水セメント比とミキサ消費電力

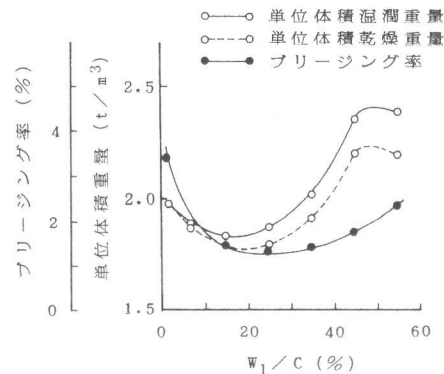


図-11 ブリージング率が最小となる条件

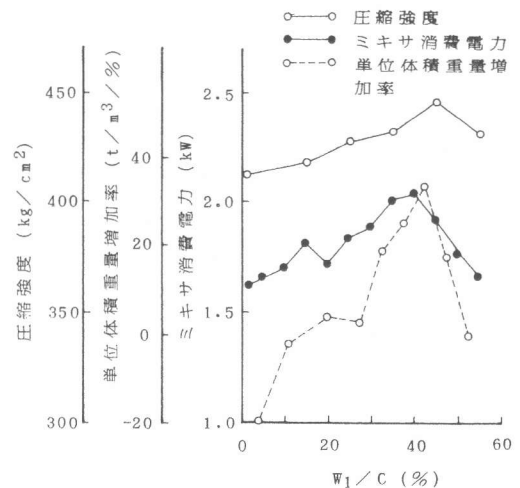


図-12 圧縮強度が最大となる条件